



Retsch GmbH
Retsch-Allee 1-5
D - 42781 Haan

Telefon 02104/2333-100
E-Mail info@retsch.de

www.retsch.de

QUALITÄTSKONTROLLE VON CANNABIS

DER ANALYTISCHE WERKZEUGKASTEN VON DER HOMOGENISIERUNG ÜBER DIE EXTRAKTION BIS ZUR ANALYTIK

Einleitung

Der europäische Cannabismarkt wächst schnell und das Bestreben, Cannabis zu legalisieren, nimmt immer konkretere Formen an. Zuletzt im Oktober 2022 wurde in Deutschland das Vorhaben debattiert, Cannabis und den Wirkstoff Tetrahydrocannabinol (THC) künftig rechtlich nicht mehr als Betäubungsmittel einzustufen und den Anbau von Cannabis in Deutschland zu erlauben. Dafür müssen allerdings Faktoren wie Regulierung und Produktsicherheit richtig verstanden und umgesetzt werden. Im April 2023 wurde beschlossen, dass es zunächst nicht-gewinnorientierte Vereine geben soll, die gemeinschaftlich Cannabis zu Genusszwecken anbauen und an Mitglieder für den Eigenkonsum abgeben dürfen. Eine Abgabe in Geschäften ist in einem zweiten Schritt zwar vorgesehen, aber nur wissenschaftlich begleitet in regionalen Modellprojekten.

CBD, kurz für Cannabidiol, ist eine natürlich vorkommende Verbindung in Cannabis. Seine Popularität hat aufgrund seiner vielfältigen Verwendung in Konsumgütern und der wachsenden Liste von gesundheitlichen Vorteilen zugenommen. Seit 2019 hat die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) CBD-Produkte als neuartige Lebensmittel nach der EU Novel Food-Verordnung eingestuft, was bedeutet, dass die Hersteller eine Genehmigung benötigen, um ihre Produkte zu vermarkten, und die Qualitätskontrolle eine wesentliche Aufgabe ist. Darüber hinaus muss sämtliches in Europa verkauftes medizinisches Cannabis gemäß der guten Herstellungspraxis (GMP) produziert und getestet werden, um zusammen mit der Zertifizierung der guten Vertriebspraxis (GDP) für Lagerung und Vertrieb geeignet zu sein.

Werkzeuge für die Qualitätskontrolle

Der analytische Werkzeugkasten beinhaltet ganz unterschiedliche Systemkonfigurationen, angefangen bei der unabdingbaren, analysengerechten Probenvorbereitung mit verschiedenen **Labormühlen** von Retsch (Kugel-, Rotor-, Messer- oder Schneidmühlen), über Probenaufschlüsse mit **Mikrowellen-Laborgeräten** und **mikrowellenbeschleunigte Lösungsmittel-Extraktions-Systeme** von CEM (MARS6 und EDGE) bis hin zur instrumentellen Analytik von Shimadzu mit dem **HPLC- Cannabis Analyzer** für Wirkstoffanalytik, LCMS-8060 Triple Quadrupol **Massenspektrometer** für Pestizid- und Mykotoxin Analytik, Triple-Quadrupol Massenspektrometer TQ-8050 NX für Terpen Analytik und ICPMS-2030 für die Bestimmung von Schwermetallen. Für eine repräsentative und reproduzierbare Analyse sollte eine entsprechende Sorgfalt bei allen drei Teilbereichen, die durch die drei oben genannten Firmen abgedeckt werden, Anspruch sein.

Potency Testing: CBD, CBDA, THC und THCA

Die Qualitätskontrolle von Cannabinoiden ist essentiell für die korrekte Kennzeichnung von Cannabisprodukten, sowohl für den medizinischen Bereich als auch für Lebensmittel. Die Wirksamkeit von Cannabis wird für gewöhnlich über den Gehalt von einigen ausgewählten Hauptcannabinoiden wie THCA, THC, CBD und CBN bestimmt, obwohl die Pflanze mehr als 500 einzigartige Verbindungen enthält, darunter über 80 chemische Alkaloide.

Homogenisierung: Vor einer entsprechenden Analyse müssen Proben ausreichen homogenisiert werden, damit die spätere Analyse einer Probenteilmenge repräsentativ zur Ausgangsprobe und reproduzierbar ist. Die Vermahlung von Pflanzenteilen kann den Anwender jedoch vor zahlreiche Herausforderungen stellen, gerade wenn sie wie im Falle von Cannabis ölig und schwer zu homogenisieren sind. Hierbei steht Retsch mit seiner langjährigen Expertise beratend zur Seite. Die Auswahl der optimalen Labormühle, des Zubehörs sowie des gesamten Verfahrens richtet sich vor allem nach der Probenmenge, die zu vermahlen ist, sowie nach der Nachfolgeanalytik. Die zu vermahlende Probenmenge sollte groß genug sein, um die gesamte Probe zu repräsentieren; eine Probe von nur wenigen Gramm, sprich wenige Blütenblätter, könnte eine heterogene Probe wie Cannabisblüten nicht hinreichend repräsentieren.



Abb. 1: Schwingmühle MM 400 mit Adapter für Zentrifugalröhrchen zur simultanen Zerkleinerung von bis zu 8 Proben, z. B. als Probenvorbereitung für das Potency Testing.

Für das Potency Testing bietet sich die Verwendung der Schwingmühle MM 400 und eines besonderen Adapters an (Abbildung 1), mit dem bis zu 8 Proben in konischen Zentrifugalröhrchen pro Mahldurchgang homogenisiert werden können. Hierzu werden die getrockneten Blüten bei -20°C tiefgefroren, und dann 4 g pro Röhrchen verwendet. Nach Zugabe von 2 x 15 mm Stahlmahlkugeln kann eine Homogenisierung bei 30 Hz für 3 min erfolgen. Feinheiten von 1-2 mm werden so erreicht. Diese Methode führt zu sehr reproduzierbaren Analysenwerten mit minimiertem Probenverlust für CBD, CBDA, THC und THCA und spart außerdem Zeit durch den hohen Probendurchsatz, der kurzen Mahldauer und das Entfallen von Reinigungsaufwand für die Einweggefäße. Diese Methode ist auch zur Vermahlung von Proben für die Pestizidanalyse geeignet. Nach der Vermahlung kann eine Teilmenge von 500 mg für die nachfolgenden Schritte weiterverwendet werden.



Abb. 2 - oben: Extraktionssystem EDGE;
unten: Einfüllen der homogenisierten
Probe in das Q Cup vor der Extraktion

Extraktion: Bei der klassischen Soxhlet-Extraktion wird typischerweise für viele Stunden, meist bis zu 24 Stunden, eine Extraktion der CBD- und THC-haltigen Proben unter Rückfluss mit Lösemittelmengen von 250 - 500 ml durchgeführt. Dieser einfache Arbeitsschritt kostet viel Zeit und verursacht hohe Kosten durch den Einsatz und die Entsorgung der großen Lösemittelmengen. Zudem ist der Platzbedarf für die Soxhletapparaturen immens. Es werden komplette Abzüge benötigt und hinsichtlich der Nachhaltigkeit gibt es zu bedenken, das hunderte Liter Trinkwasser für die Rückflusskühlung der Soxhletapparaturen eingesetzt werden. Dem gegenüber gewinnen zeit- und kostensparende sowie nachhaltige Analyseverfahren sowohl in der Forschung wie auch in der Routineanalytik zunehmend an Bedeutung. Mit dem Lösemittel-Extraktionssystem EDGE werden langwierige Lösemittel-Extraktionen schnell, einfach, sicher und kostensparend durchgeführt.

Das EDGE von CEM ist eine ausgezeichnete Wahl für Laboratorien, die Cannabinoide (und Pestizide) aus Cannabis und seinen Produkten mit hohen Wiederfindungsraten und wiederholbaren Ergebnisse extrahieren müssen (Abbildung 2). Das EDGE ist ein automatisiertes, einfaches Extraktionssystem, das Lösungsmittel nutzt, um Proben schnell und effektiv zu extrahieren. Die Extraktionen im EDGE werden unter Druck bei definierten Temperaturen durchgeführt, was zu einer starken Beschleunigung der Reaktionskinetik führt. Neben dieser schnelleren Desorption der Analyten von der flüssigen oder festen Matrix erfolgt das Aufheizen und Abkühlen der Probe durch ein spezielles Verfahren in wenigen Sekunden. In das Q-Cup werden 500 mg homogenisierte Probe eingefüllt und das Q-Cup in den Autosampler platziert. Der Greifarm befördert das Q-Cup in die Probenkammer und dann wird der Q-Cup automatisch druckdicht abgeschlossen. Nach Hinzufügen des Lösungsmittels wird die Zelle bei erhöhtem Druck auf eine definierte Temperatur schnell aufgeheizt und wenige Minuten lang bei konstanten Bedingungen gehalten, damit die Analyten aus der Probe dispersiv herausgelöst werden. Der Lösemittel-extrakt wird durch die Q-Cup Disk automatisch gefiltert, anschließend abgekühlt und ins Probenglas überführt.

Die beschleunigte Lösemittel-extraktion ist erheblich schneller als Soxhlet, Ultraschall, klassische ASE, QuEChERS oder andere konventionelle Extraktionsmethoden und braucht dabei viel weniger Lösemittel bei gleichzeitig wesentlich geringerem Arbeitsaufwand. Der Platzbedarf des EDGE entspricht ca. einem DIN A 3 Blatt, das Gerät ist also sehr klein und kann praktisch überall aufgestellt werden, auch außerhalb eines Abzuges.

Analytik: HPLC hat sich zum Goldstandard für schnelle und einfache Cannabinoid-Analytik entwickelt, da mit dieser Methode die Trennung und der Nachweis aller Cannabinoide erfolgen kann. Darüber hinaus bietet die HPLC-UV-Methode eine gute Linearität, eine niedrige Nachweisgrenze sowie eine hohe Präzision der Retentionszeit und der Peakfläche für die interessierenden Cannabinoide (Abbildung 3).

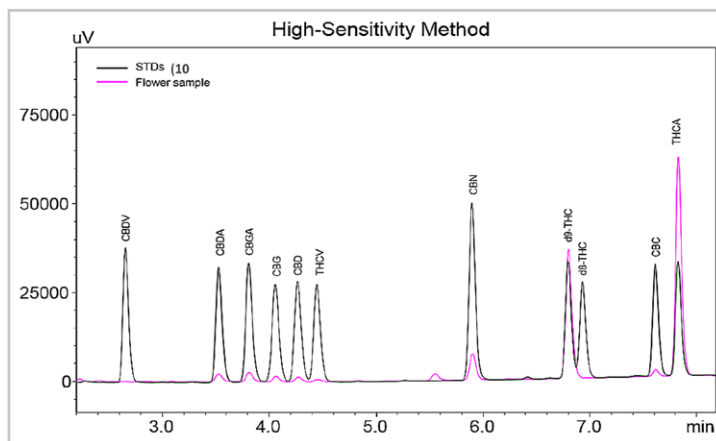


Abb. 3: Chromatogramm eines Extraktes aus Hanfblüten im Vergleich zu einer Standardlösung



Abb. 4: Shimadzu Cannabis Analyzer auf Basis der Kompaktanlage i-Series Plus mit UV-Detektor

Mit dem Cannabis Analyzer von Shimadzu (Abbildung 4) lassen sich alle elf wichtigen Cannabinoide bestimmen. Die Basis ist die Kompaktanlage i-Series Plus mit UV-Detektion. Die vorgefertigten Methoden machen den Schnelleinstieg in die Cannabis-Wirkstoffprüfung sehr einfach. Die i-Series Plus automatisiert die Probenvorbereitung, etwa die Probenverdünnung oder die Zugabe von Reagenzien. Das verringert das Risiko von Messfehlern durch manuelle Schritte und gewährleistet nicht nur bei der Analyse von Cannabis, pharmazeutischen Produkten und Lebensmitteln hochgradig reproduzierbare und zuverlässige Daten. Die i-Series Plus erfüllt durch spezielle Funktionen die Anforderungen zur Datenintegrität in der pharmazeutischen Industrie.

Terpen-Analyse

Terpene sind organische Aromastoffe, die in den Trichomen (in denen THC produziert wird) gebildet werden und als wesentliche medizinische Kohlenwasserstoffkomponenten die homöopathische Gesamtwirkung beeinflussen.



Abb. 5: CryoMill mit 50-Liter Tank für Flüssigstickstoff

Ein sehr wichtiger Aspekt während der **Vermahlung von Proben zur Terpenanalyse** ist die Vermeidung von Erwärmung. Diese kann dazu führen, dass die Terpene als flüchtige Probenbestandteile verloren gehen, was die Ergebnisse der Nachfolgeanalytik verfälschen würde. Es konnte gezeigt werden, dass sich zur Analytik von Terpenen geschlossene Mahlssysteme wie Kugelmöhlen besonders eignen (Abbildung 6). Zudem kann in diesen auch kryogen gearbeitet werden, was einen Verlust von flüchtigen Bestandteilen verhindert, und gleichzeitig die Bruchigenschaften von öligen Proben so verbessert, dass eine gute Homogenisierung gelingt. In der CryoMill (Abbildung 5) oder in der MM 500 control können max. 1 x 20 ml Probe oder 2 x 40 ml Probe innerhalb von wenigen Minuten mit flüssigem Stickstoff zuerst versprödet, dann vermahlen werden. Beide Systeme sind dabei besonders sicher und komfortabel, es gibt keine frei zugänglichen Bäder mit flüssigem Stickstoff, mit denen der Anwender in Kontakt kommen könnte. Die Kühlung erfolgt automatisiert. Programmierbare Kühlpausen sollten ausreichend lang gewählt werden, um eine Erwärmung wirklich zu unterbinden. In Kugelmöhlen lassen sich Proben wie getrocknete Cannabisblüten auf 0,1 mm zerkleinern.

Müssen größere Probenmengen bis ca. 4 Liter homogenisiert werden, kann dies auch in der Ultra-Zentrifugalmühle ZM 300 erfolgen. Hierbei wird durch einen optionalen Zyklon ein Luftstrom zur Kühlung der Probe generiert. Um eine Erwärmung möglichst gering zu halten, sollte nicht mit Ringsieben < 0,5 mm gearbeitet werden, eine Endfeinheit von ca. 300 µm ist üblich und ausreichend für eine gute Nachfolgeanalytik (Abbildung 7).

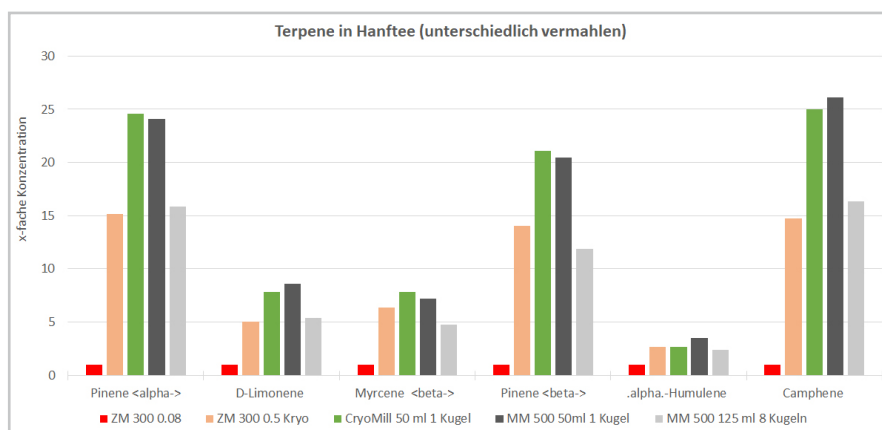


Abb. 6 Terpengerhalte in Proben aus unterschiedlichen Vermahlungen. Für alle gemessenen Terpene findet sich das gleiche Muster. Wird die Probe zu warm vermahlen (wie in der ZM 300 mit einem bewusst engmaschigen 0,08 mm Sieb provoziert), so verflüchtigen sich die Terpene. Wird ein gröberes Sieb gewählt und die Probe kryogen vermahlen, lässt sich der Verlust der flüchtigen Inhaltsstoffe minimieren. Die besten Ergebnisse werden in geschlossenen Kugelmöhlen (CryoMill, MM 500 control) bei Kryogenvermahlung erzielt, hier gehen keine Inhaltsstoffe verloren. Da im 125 ml Mahlbecher der MM 500 control 8 Kugeln statt einer eingesetzt wurden, kommt es zu einer stärkeren Erwärmung und damit zu Terpenverlust durch Reibungseffekte im Mahlbecher. Dem kann durch eine Programmierung verlängerter Zwischenkühlphasen entgegengewirkt werden.

Die vermahlene Proben können direkt analysiert werden. Die **Charakterisierung der Terpene** und ihrer synergistischen Wirkung mit den Cannabinoiden ist mit Shimadzu **Gaschromatographie (GC)**-Systemen leicht möglich, und reicht von Kiefern- oder Pinienaromen bis hin zu Duftnoten frischer Zitrusfrüchte.



Abb. 7: Cannabisblüten vor der Vermahlung und nach der kryogenen Vermahlung in einer Kugelmühle (Mitte) (insgesamt 4 min für 20 g Probe) oder in der ZM 300 (10 min für 500 g Probe, rechts).

Das Shimadzu GCMS-TQ8050 NX mit dem HS-20 Headspace Sampler und der NIST Spektren Bibliothek kann mehr als 3.000 Aromen und Duftstoffe identifizieren, und erfüllt damit eine wichtige Voraussetzung zur Erstellung von Terpenprofilen, die als Qualitätskriterium für die Cannabispflanzen dienen. Die gleiche Systemkonfiguration kann für die Analyse von Restlösungsmitteln verwendet werden, während für die Pestizidanalytik ein zusätzlicher Flüssig-Autosampler eingesetzt wird.

Pestizidanalytik

Pestizide, die im kommerziellen Anbau von Cannabis verwendet werden, können krebserregend und erbgutverändernd sein und ernsthafte Gesundheitsprobleme verursachen, insbesondere bei immungeschwächten Konsumenten von medizinischen Cannabisprodukten. Aufgrund des Risikos einer Pestizidexposition durch inhalierte und konsumierte Cannabisprodukte müssen die Pestizide im Pflanzenmaterial und seinen Produkten überwacht werden. Zur Vermahlung und Homogenisierung eignen sich wiederum die in den vorherigen Abschnitten bereits diskutierten Mühlen. Prinzipiell lassen sich feiner vermahlene Proben besser extrahieren. Daher sind hier wiederum die Kugelmühlen vorteilhaft.

Als Matrices haben sich Cannabis und seine verwandten Produkte als schwierig zu extrahieren erwiesen, und traditionellere Pestizidextraktionsmethoden wie QuEChERS haben gezeigt, dass sie mit diesen Produkten schlecht funktionieren. Daher ist eine bessere Extraktionsmethode erforderlich. Das EDGE von CEM eignet sich hervorragend für die Pestizidanalytik. Das Extraktionssystem ist für die schnelle automatisierte Lösemittel-Extraktion von Proben entwickelt worden. Damit werden unterschiedliche Proben in nur 5 bis 10 min. extrahiert. Neben dieser schnelleren Desorption der Analyten von der flüssigen oder festen Matrix erfolgt das Aufheizen und Abkühlen der Probe durch ein spezielles Verfahren in wenigen Sekunden.

Shimadzu bietet mit Flüssigchromatographie-Massenspektrometrie Systemen (LC-MS/MS) die empfindlichste und umfassendste Pestizidanalytik im Europäischen Markt. So ist zum Beispiel eine hochempfindliche LC-MS/MS-Analyse von 211 Pestiziden in getrockneten Cannabisprodukten in weniger als 12 Minuten mit einem Shimadzu LCMS-8060 NX Triple-Quadrupole-Massenspektrometer möglich.

Mykotoxine

Da Cannabis einen hohen Feuchtigkeitsgehalt hat kann eine langfristige Lagerung zu Pilzwachstum führen, das als Schimmel bekannt ist und bei dem die Mykotoxine giftige Sekundärmetaboliten sind. Aflatoxine beispielsweise sind eine Untergruppe der Mykotoxine, die vorzugsweise in Böden und verrottender Vegetation vorkommen. In Europa hat die EU-Kommission strenge Richtlinien für die Probenahme- und Analysemethoden zur Kontrolle von Mykotoxinen festgelegt.

Ähnlich wie für die Probenvorbereitung für das Potency Testing können für die Homogenisierung vor der Analyse von Mykotoxinen die Rotor- oder Kugelmühlen von RETSCH verwendet werden, gefolgt von der Extraktion im Edge von CEM. Das LCMS-8050 Triple-Quadrupole Massenspektrometer von Shimadzu ermöglicht es dem Cannabislabor, Mykotoxine schnell und mit hoher Empfindlichkeit im geforderten Konzentrationsbereich zu testen.

Schwermetallanalyse

Während ihres Wachstums können Cannabispflanzen giftige Schwermetalle wie Blei, Cadmium, Arsen und Quecksilber aus dem Boden aufnehmen. Sollen Proben auf Schwermetalle untersucht werden, eignet sich neben den bereits erwähnten Kugelmühlen und der ZM 300 auch die Messermühle GM 200 (Abbildung 8), welche besonders einfach zu handhaben ist und Proben bis 200 ml in einem Durchgang homogenisiert. Es hat sich gezeigt, dass eine Korngröße von <1 mm Partikeln ausreicht, um eine sehr gute Reproduzierbarkeit zu erreichen. Die Standardabweichung war für alle analysierten Elemente unter 5%. Wird eine kürzere Mahldauer gewählt, die in gröberen (2 mm) Partikeln resultiert, so ist mit Standardabweichungen bis 12% zu rechnen (Abbildung 9). Eine entsprechende Sorgfalt in der Homogenisierung zahlt sich daher aus, um solche Partikelgrößeneffekte zu minimieren.



Abb. 8: Messermühle GRINDOMIX GM 200

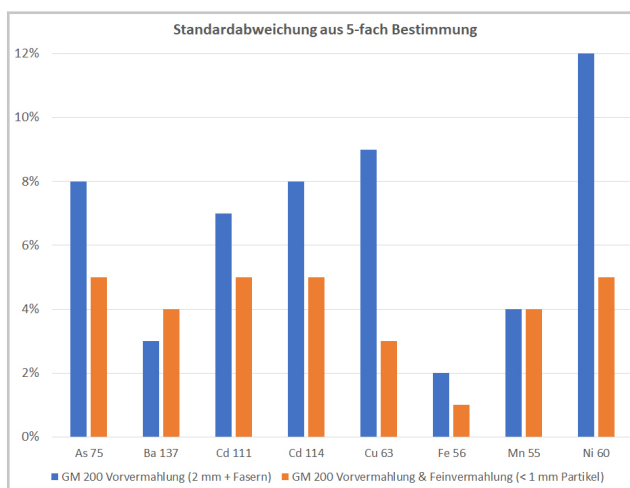
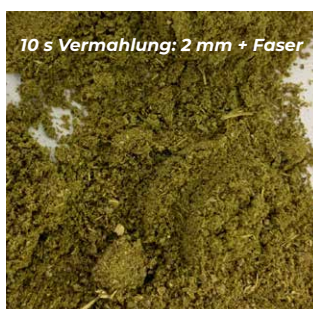


Abb. 9: Korngrößeneffekte auf die Reproduzierbarkeit von Schwermetallanalyse in Cannabisblüten.

Nach 10 s Vermahlung (Intervall bei 4000 rpm) in der Messermühle GM 200 bleiben Fasern über, die entsprechenden Standardabweichungen in der Schwermetallanalyse fällt höher aus als bei 20 s vermahlene Proben mit Endfeinheiten <1 mm (10 s Intervall, 4000 rpm + 10 s 10000 rpm).



Besonderes Augenmerk muss bei der Zerkleinerung im Falle einer Schwermetallanalytik auf die Wahl der richtigen Mahlwerkzeuge gelegt werden. Da eine mechanische Zerkleinerung immer mit Abrieb des Zerkleinerungswerkzeuges verbunden ist, kommt es bei Verwendung von Stahlwerkzeugen unweigerlich zu einer Verfälschung (Erhöhung) der Schwermetallwerte in der Probe. Dies kann mit der richtigen Auswahl der Mahlwerkzeuge umgangen werden, beispielsweise mit Werkzeugen aus Zirkonoxid im Falle von Kugelmøhlen oder Titan im Falle der GM 200 oder der ZM 300. Es ist deutlich in Abbildung 10 zu erkennen, dass Stahlwerkzeuge die gemessene Konzentration an Schwermetallen erhöhen und verfälschen.

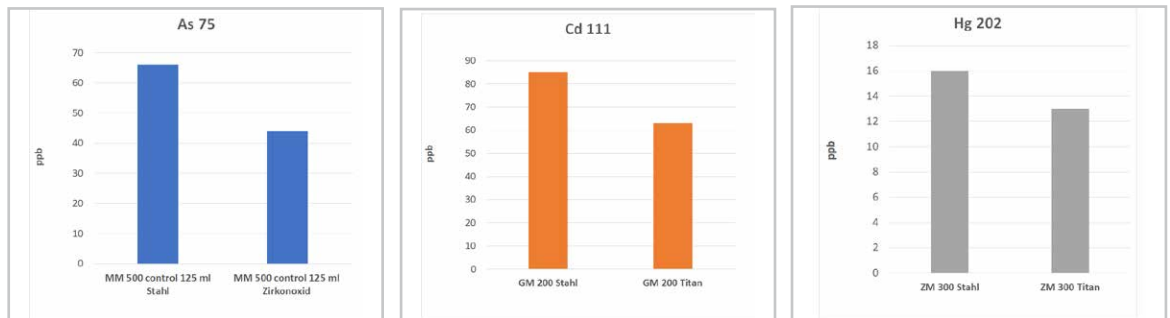


Abbildung 10: Effekte des korrekten Mahlwerkzeuges auf Analysenergebnisse. Der Abrieb aus Stahlwerkzeugen führt zu erhöhten Werten von Schwermetallen und verfälscht somit die Analyse. Durch Zirkonoxidwerkzeuge oder solchen aus Titan kann diese Verfälschung umgangen werden.



Abbildung 11: Das Mikrowellenaufschlusssystem MARS 6 von CEM;

Es gibt verschiedene Methoden zur Bestimmung von Spurenmetallen in Pflanzenmaterial wie Cannabis und Hanf oder Edibles. Alle erfordern einen Mineralsäureaufschluss, um die organische Matrix zu zerstören und Metallspuren zu lösen und so eine flüssige Probe zu erhalten. Hierzu eignet sich das MARS 6 von CEM (Abbildung 11). Es ist das einzige System, das integrierte Sensortechnologie verwendet, um den Gefäßtyp sowie die Probennummer zu erkennen und daraus einen benutzerdefinierten Algorithmus zu erstellen, um die höchste Qualität des Extraktes zu gewährleisten. Mit Optionen für die Fernsteuerung des Systems und der berührungslosen Temperaturregelung aller Behälter ist das MARS 6 in der Lage, auch schwierigste Proben zu verarbeiten. „Mikrowellenschlusssysteme“ sind im Gegensatz zu Aufschlusssystemen mit konvektiver Beheizung in der Lage, innerhalb von kurzer Zeit die Feststoffprobe zu lösen. Da sich die Aufschlusszeiten mit Hilfe der Mikrowellenenergie oft um ein Vielfaches verringern, bedeutet dieses gerade für den Routinebetrieb einen nicht unerheblichen Zeitgewinn und damit auch Kosteneinsparung. Nahezu jedes Probenmaterial lässt sich mit mikrowellenbeschleunigten Aufschlüssen schneller aufschließen als mit herkömmlichen Methoden.

Für den Mikrowellenaufschluss werden 0,5 g Cannabis Probe zusammen mit 9 ml HNO₃ und 1 ml HCl in ein MARSXpress Plus Gefäß gegeben. Nach Beendigung der anfänglichen Reaktionen werden die Gefäße verschlossen und in den Rotor gegeben, der bis zu 24 Proben in einem einzigen Lauf temperaturkontrolliert aufschließen kann. Wenn der Rotor/Drehteller mit den Probengefäßen ins MARS 6 eingesetzt wurde, startet man die vorprogrammierte „Cannabis Methode“ mittels One Touch Technik mit nur einer „klicken“ auf dem Touchscreen des MARS 6. Das Mars 6 erkennt alle relevanten Aufschlussparameter selbst, so dass nach nur einem Knopfdruck auf diese „One Touch“ App der Aufschluss automatisch erfolgt. Dieses beinhaltet die Steuerung der Reaktionsparameter Zeit, Druck und Temperatur, das Zählen der Behälter, die optimale Mikrowellenleistung und den Behältertyp.

Außerdem werden die Temperaturen sämtlicher Behälter auf dem SmartPhone Touch-Screen des MARS 6 visuell dargestellt. Die neuartige Sensortechnik kontrolliert direkt die Reaktionskinetik der Aufschlussreaktionen und regelt daraufhin die optimale Mikrowelleneinwirkung.

Schwermetalle wie Arsen, Cadmium, Chrom und Blei sind natürliche Bestandteile der Erdkruste und kommen typischerweise in unserer Umwelt und damit im Wasser und in den Böden in unterschiedlichen Konzentrationen vor. Die Konzentration von Schwermetallen in Pflanzen, die für den Verzehr bestimmt sind, muss aufgrund der potenziell gefährlichen Toxizität sorgfältig kontrolliert werden. Cannabis im Besonderen ist eine Pflanze, die dem Boden Schwermetalle entzieht, die dann in der Pflanze angereichert werden.

Das Shimadzu Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma ICPMS-2030 und seiner neu entwickelten Kollisionszelle zur Minimierung von Interferenzen bietet die erforderliche Empfindlichkeit, um geringste Konzentrationen dieser toxischen Metalle mit hoher Genauigkeit zu messen.

FAZIT

Der analytische Werkzeugkasten von Shimadzu, CEM und Retsch, der die gesamte Palette an Systemkonfigurationen zur instrumentellen Analytik und Probenvorbereitung umfasst, ermöglicht es Cannabislaboren, effizient und in voller Übereinstimmung mit den internationalen Vorschriften zu arbeiten.

Dieser Artikel entstand in Zusammenarbeit mit den Firmen CEM und Shimadzu.

Weitere Informationen unter

www.retsch.de

www.cem.de

www.shimadzu.de